

بررسی نوزمین‌ساخت پهنه گسلی مشا - شمال تهران برپایه ویژگی‌های ریخت‌زمین‌ساختی، البرز مرکزی، شمال ایران

نوشین بقاء^{۱*}، منوچهر قرشی^۲، مهران آرین^۳، محسن پور کرمانی^۴ و علی سلگی^۵

^۱دکتر، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
^۲دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران
^۳دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
^۴استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران
^۵استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۳/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۷/۳۰

چکیده

گسترش ساختاری تحت تأثیر فعالیت‌های زمین‌ساخت جنبه به دگرشکلی عارضه‌های زمین‌ریختی می‌انجامد. پهنه گسلی مشا - شمال تهران در لبه جنوبی البرز مرکزی شامل ساختارهای زمین‌ساختی شاخصی است. در این راستا مطالعه بر روی نشانه‌های ریخت‌زمین‌ساختی، روش مناسبی در ارزیابی فعالیت‌های زمین‌ساخت نسبی ناحیه است. در این پژوهش ۶ شاخص ریخت‌سنجی مهم در نظر گرفته شده است که عبارتند از: شاخص طول - شیب آبراهه (SL)، انتگرال فرازسنجی (Hi)، عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)، شکل حوضه زهکشی (Bs)، نسبت عرض کف دره به ارتفاع آن (Vp) و پیچ‌وخم پیشانی کوه (Smf). محاسبه و ارزیابی این شاخص‌ها ۳ رده از فعالیت زمین‌ساخت نسبی ناحیه را از فعالیت کم تا زیاد مشخص می‌کند. بر این پایه، بیشتر حوضه‌های زهکشی که رده بالا از این فعالیت را نشان می‌دهند، با گسل‌های اصلی لبه جنوبی البرز مرکزی منطبق هستند.

کلیدواژه‌ها: فعالیت نسبی، شاخص‌های ریخت‌سنجی، زمین‌ریخت‌شناسی، حوضه زهکشی، بالآمدگی، گسل مشا.

*نویسنده مسئول: نوشین بقاء

E-mail: n_bagha@yahoo.com

۱- پیش‌گفتار

کمربند چین‌خورده - رانده البرز در شمال صفحه ایران مرکزی در یک راستای عمومی خاوری - باختری امتداد یافته است. الگوی ساختاری چیره این رشته‌کوه از نوع گسل‌های رانده (Alavi, 1991) و چین‌های ملایم و ناهماهنگ است. پژوهش‌های لرزه‌زمین‌ساختی موجود در گستره البرز نشانگر فعالیت زمین‌ساخت بالا در این پهنه گسلی است (Berberian & Yeats, 2001). زمین‌ریخت‌شناسی ابزاری مفید در بررسی زمین‌ساخت پویا در هولوسن و اواخر پلیوستوسن است (Keller & Pinter, 2002). بررسی شاخص‌های ریخت‌سنجی بسیار از عوارض ریخت‌زمین‌ساختی امکان مقایسه نسبی از فعالیت‌های زمین‌ساختی ناحیه را فراهم می‌کند (Keller & Pinter, 1996; Burbank & Anderson, 2001). محاسبه این شاخص‌ها و تعیین یک شاخص پایانی (Iat) از آنها رده‌بندی از فعالیت‌های زمین‌ساخت نسبی را نشان می‌دهد (El Hamdouni et al., 2008). این مطالعات در گذشته در نواحی بسیاری از دنیا همچون: جنوب باختری آمریکا (Rockwell et al., 1985)، ساحل اقیانوس آرام در کاستاریکا (Wells et al., 1988)، ساحل مدیترانه در اسپانیا (Silva, 1994)، جنوب باختری سریا نوادا در اسپانیا (El Hamdouni et al., 2008) انجام شده است. در این پژوهش شاخص‌های ریخت‌سنجی بسیاری مورد ارزیابی قرار گرفته و با تعیین یک شاخص (Iat) از محاسبات، زمین‌ساخت نسبی ناحیه بررسی شده است. لازم به یادآوری است که هر چند در گذشته شاخص‌های زمین‌ریختی به‌عنوان یک ابزار در ارزیابی فعالیت‌های زمین‌ساخت فعال در پهنه‌های مختلف ایران زمین استفاده شده است، ولی در این مطالعه ضمن محاسبه دقیق و بررسی چندین شاخص ریخت‌سنجی (۶ شاخص) که نشان دهنده اصلی تغییرات مربوط به ریخت سطح زمین به‌ویژه کانال رودها و حوضه‌های زهکشی هستند و تعیین یک شاخص پایانی بر پایه روش El Hamdouni et al. (2008) روی مدل ارتفاعی رقومی (Dem) تهیه شده از نقشه‌های رقومی ۱:۲۵۰۰۰ در GIS، به تحلیلی نوین بر پایه رابطه میان این شاخص‌ها و چگونگی وضعیت جنبشی ساختارهای زمین‌ساختی با توجه به ماهیت شاخص‌های ریخت‌سنجی در ناحیه مورد مطالعه پرداخته می‌شود.

۲- موقعیت زمین‌شناسی

رشته کوه البرز در شمال ایران تحت تأثیر همگرایی شمالی - جنوبی صفحه ایران مرکزی (اواخر ترشیری) (Berberian, 1983) و حرکت حوضه خزر جنوبی به سوی شمال باختر (پلیوستوسن) (Ritz et al., 2006) گسترش یافته است. ناحیه مورد مطالعه بخشی از لبه جنوبی و بخش درونی دامنه البرز مرکزی را دربر می‌گیرد که در بردارنده گسل‌های مهمی چون گسل اصلی مشا، گسل شمال تهران و پایانه خاوری گسل طالقان است. این منطقه دارای نهشته‌های پرکامبرین تا کواترنری است که بیشتر جنوب ناحیه به‌ویژه در محدوده شهر تهران آبرفت‌های کواترنری و رسوبات هولوسن دیده می‌شود (شکل ۱). تغییرات مؤلفه‌های همگرایی به‌ویژه در طی پلیوسن - عهد حاضر (Allen et al., 2003) عامل ایجاد گوناگونی در روند و سازوکار حرکتی ساختارهای منطقه شده است، به گونه‌ای که فعالیت‌های زمین‌ساختی کواترنر در راستای گسل‌های شاخص در این منطقه به‌ویژه در امتداد گسل مشا به‌علت چرخش ساعت گرد حوضه خزر جنوبی (پلیوستوسن) به‌صورت امتدادلغز چپ‌گرد مشخص شده است (Ritz et al., 2006) که فعالیت‌های لرزه‌ای اخیر هم آن را تأیید می‌کند (Jackson et al., 2002; Ashtari et al., 2005). مطالعات ژئودتیکی نشان می‌دهند که بیشتر حرکات امتدادلغز چپ‌گرد روی گسل اصلی دامنه جنوبی البرز مرکزی (گسل مشا) متمرکز شده است (Vernant et al., 2004). به گونه‌ای که ۳۵ کیلومتر جابه‌جایی پلیوسن - کواترنر برای گسل مشا پیشنهاد شده است که منطبق با نرخ لغزش ۷ mm/yr در بیشتر از یک دوره ۵ My است (Allen et al., 2003) که مطالعات ساختاری، ریخت‌زمین‌ساختی و دیرینه‌لرزه‌شناسی بعدی روی بخش خاوری گسل مشا نرخ لغزش افقی ۲/۲ mm/Yr را نشان می‌دهد. همچنین تحولات ساختاری در طی میوسن تا عهد حاضر عامل دگرشکلی‌های فشاری در البرز مرکزی به‌صورت چین‌ها و گسل‌های رانده شده است (Guest et al., 2007; Allen et al., 2003) که راندگی رسوبات ائوسن روی آبرفت‌های عهد حاضر در امتداد گسل شمال تهران از جمله عارضه‌های ساختاری شاخص در لبه جنوبی البرز مرکزی و شمال شهر تهران است (شکل ۱). بنابراین حرکات کواترنری در ناحیه مورد مطالعه به‌طور

می‌شود که پراکندگی نواحی با میزان متوسط و بالای (شکل ۴) این شاخص به‌جز محدوده‌های همراه با مقاومت سنگ بالا (شکل‌های ۳، ۴ و ۵) به‌طور چیره نتیجه‌ای از فرایندهای زمین‌ساختی کواترنر بوده است (شکل ۴). به‌ویژه بررسی در راستای آبراهه‌های منطقه با سامانه گسلی شمال تهران و گسل‌های کواترنر شمال تهران که در بستری با مقاومت سنگی پایین و متوسط جاری هستند، رده‌های ۱ و ۲ از شاخص طول-شیب آبراهه (SL) را نشان می‌دهد (شکل ۴).

۳-۲. انتگرال فراز سنجی (Hi)

انتگرال فرازسنجی بیانگر چگونگی پراکندگی ارتفاع در یک حوضه زهکشی است (Strahler, 1952) و این میزان از فرمول ساده زیر محاسبه می‌شود (Pike & Wilson, 1971; Mayer, 1990; Keller & Pinter, 2002):

$$Hi = \frac{\text{average elevation} - \text{minimum elevation}}{(\text{maximum elevation} - \text{minimum elevation})} \quad (2)$$

همچنین مساحت زیر نمودار منحنی فرازسنجی معرف دقیق‌تری از این شاخص است (Strahler, 1952; Keller & Pinter, 2000). در این جا با رسم منحنی از روی مدل ارتفاعی رقومی و محاسبه مساحت زیر آن، این شاخص بررسی شد. مقادیر بالای انتگرال فرازسنجی نشان می‌دهد که بیشتر توپوگرافی منطقه نسبت به ارتفاع میانگین بلندتر است که نشانگر نواحی جوان و فعال زمین‌ساختی است (Keller & Pinter, 2002; Bull, 2007). حوضه‌های واقع در پیشانی کوهستانی جلویی (Frontal Mountain Front) دامنه (منطبق با گسل مشا و گسل شمال تهران) بیشتر رده ۱ از انتگرال فرازسنجی را نشان می‌دهند (شکل‌های ۶ و ۷ و جدول ۲) (Bull, 2007). همچنین حوضه کلاک نشان‌دهنده بالاترین میزان از این شاخص است (شکل‌های ۶ و ۷ و جدول ۲).

۳-۳. عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)

تغییر شکل‌های مربوط به فرایندهای زمین‌ساختی، عامل ایجاد تغییراتی در الگو و هندسه شبکه زهکشی یک حوضه آبریز می‌شود؛ به‌گونه‌ای که در مناطق آرام زمین‌ساختی با در نظر گرفتن عامل‌های تأثیرگذار، ترکیب سنگ‌شناسی بیشتر دارای هندسه و الگوی متقارن است، ولی حضور دگرشکلی‌های مرتبط با فرایندهای زمین‌ساختی، این الگوی متقارن اولیه را تغییر می‌دهد و سبب کج‌شدگی در حوضه می‌شود (Hare & Gardner, 1985; Keller & Pinter, 2002). عامل عدم تقارن توسط فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$Af = 100 (A_p/A_s) \quad (3)$$

A_p مساحت سمت راست زیرحوضه (نگاه به سوی پایین آبراهه) و A_s مساحت کل زیر حوضه است. پراکندگی میزان Af متوسط و بالا در ناحیه مرتبط با گسل‌های اصلی ناحیه (گسل مشا، گسل طالقان و گسل شمال تهران) دیده شده است که نشان از تأثیر مؤلفه حرکتی این گسل‌ها بر عدم تقارن حوضه‌های زهکشی دارد (جدول ۲).

۳-۴. شکل حوضه (Bs)

این شاخص به‌وسیله رابطه زیر بیان شده است (Cannon, 1976; Ramirez-Herrera, 1998):

$$Bs = B_p/B_w \quad (4)$$

در این رابطه B_p طول حوضه، فاصله پایین‌ترین ارتفاع حوضه تا دورترین نقطه از آن و B_w عرض حوضه، که در عرض‌ترین بخش آن اندازه‌گیری می‌شود، است. میزان بالای این شاخص بیانگر حوضه‌های کشیده است که بیشتر در نواحی جوان تر حوضه و بیشتر مرتبط با پیشانی‌های کوهستانی جلویی (Frontal Mountain Fronts) به‌علت بالآمدگی سریع مرتبط با این ساختارها دیده می‌شود (Bull, 2007). حوضه در که در لبه جنوبی البرز مرکزی نمایانگر میزان بالای این شاخص است (جدول ۲).

۳-۵. نسبت عرضی کف دره به ارتفاع آن (Vf)

این نسبت نشان‌دهنده رابطه‌ای میان میزان فعالیت زمین‌ساختی در منطقه و تشکیل دره‌هاست که به‌صورت زیر تعریف شده است:

عمده به‌صورت وارون و راندگی با مؤلفه امتدادلغز در شمال ناحیه تهران (گسل شمال تهران، لبه جنوبی البرز مرکزی) (Nazari et al., 2007; Nazari & Ritz, 2008); بخش باختری گسل مشا در جنوب پایانه خاوری پهنه گسلی طالقان (Guest et al., 2006a) و جابه‌جایی‌های امتدادلغز چپ‌گرد در بخش خاوری گسل مشا (با مؤلفه کوچک عادی) (Solaymani, 2003); و بخش‌های داخلی دامنه البرز مرکزی (Ritz et al., 2006) وجود دارد.

۳- ارزیابی‌های شاخص‌های ریخت‌سنجی

در گذشته این مطالعه روی پیشانی‌های کوهستانی و تنها با استفاده از ۲ شاخص ریخت‌سنجی انجام می‌شده است (S_{mf} , V_p) (Bull & Macfadden, 1977; Rockwell et al., 1985; Azor et al., 2002) (Molin et al., 2004).

در این پژوهش همه شاخص‌های مرتبط به‌تغییرات کانال رود و حوضه‌های آبریز بررسی شده و با استفاده از یک شاخص منفرد (I_{at}) که نتیجه محاسبات مربوط به ۶ شاخص ریخت‌سنجی است به ارزیابی فعالیت زمین‌ساخت نسبی ناحیه پرداخته شده است (El Hamdouni et al., 2008). از آنجایی که مطالعات در زمینه ریخت‌شناسی حوضه‌های آبریز و ویژگی‌های فیزیوگرافیک آبراهه‌هاست بنابراین در ابتدا مدل ارتفاعی رقومی (DEM) ناحیه مورد مطالعه با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی رقومی ۱:۲۵۰۰۰ در سامانه اطلاعات جغرافیایی ساخته شدند و سپس توسط نرم‌افزار Arc Hydro محدوده مورد مطالعه به ۳۳ زیر حوضه مناسب برای مطالعات ریخت‌زمین‌ساختی تقسیم شد (شکل ۲). چندین شاخص زمین‌ریختی برای هر زیرحوضه ناحیه محاسبه و بررسی و نتایج به‌دست آمده از هر شاخص به ۳ رده فعالیت زمین‌ریختی تقسیم شد که در پایان میانگین این رده‌ها به ۳ سطح فعالیت زمین‌ساختی رده‌بندی شده‌اند (El Hamdouni et al., 2008) (جدول ۱).

۳-۱. شاخص طول-شیب آبراهه (SL)

تغییرات در شیب کانال رود که عامل تغییر در شیب سطح آب است متأثر از جنس سنگ‌ها و فعالیت‌های زمین‌ساختی است (Keller & Pinter, 2002). شاخص SL نمایانگر موازنه میان فرایندهای فرسایشی همانند جریان‌های رودخانه‌ای و جنبش‌های زمین‌ساختی است (Hack, 1957, 1973, 1982) که به‌صورت زیر تعریف شده است (Hack, 1973):

$$SL = (\Delta h / \Delta l) / L \quad (1)$$

در این رابطه L طول کانال رود از بالادست تا نقطه‌ای که برای آن شاخص محاسبه می‌شود و $\Delta h / \Delta l$ شیب بخشی از کانال رود است. این شاخص متأثر از میزان بالآمدگی در یک ناحیه است. بنابراین مؤلفه‌های حرکتی با جابه‌جایی‌های افقی همانند گسل‌های امتداد لغز تأثیر چندانی در این شاخص ندارند. این شاخص در راستای آبراهه‌های هر زیر حوضه با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی در سامانه اطلاعات جغرافیایی محاسبه شد و نتایج حاصل از بررسی ۴۰۰۰ محل در امتداد آبراهه‌های ناحیه به ۳ رده تقسیم شدند. رده ۱: میزان بالا؛ رده ۲: میزان متوسط؛ رده ۳: میزان پایین (El Hamdouni et al., 2008). بالاترین میزان شاخص SL منطقه با نودیس آرانگه و زیر حوضه آرانگه است (شکل‌های ۳ و ۴ و جدول ۲).

با توجه به تأثیر مقاومت سنگ بر میزان بالای این شاخص، سنگ‌های موجود در منطقه مورد مطالعه بر پایه میزان مقاومت به گروه‌هایی با مقاومت کم (آبرفت، کنگلومرای پلئو-کواترنر)، مقاومت متوسط (شیل، گل‌سنگ، توف)، مقاومت بالا (دولومیت، ماسه‌سنگ، کنگلومرای اتوسن) و مقاومت خیلی بالا (آندزیت، گابرو، بازالت، سینیت، مونزونیت، دیاباز، تراکی آندزیت) رده‌بندی شده‌اند (معماریان، ۱۳۸۰). با مقایسه نقشه مقاومت سنگ (شکل ۵) و پراکندگی رده‌های شاخص SL دیده

از فعالیت زمین ساخت نسبی را نشان می دهند (جدول ۲). محاسبات و بررسی های انجام شده در این مطالعه وجود پیشانی کوهستانی مستقیم ($Smf < 1.1$) (جدول ۲)، حوضه هایی با کشیدگی زیاد و انگرال هیسومتری بالا را در راستای گسل شمال تهران مشخص می کنند (شکل های ۵، ۶ و جدول ۲).

مطالعات دیرینه لرزه شناسی پر تگاه گسلی ۳ m ~ را در بخش مرکزی گسل شمال تهران که نهشته های پلیستوسن بالایی - هولوسن را متأثر کرده است نشان می دهند (Nazari et al., 2007). حوضه آسارا در شمال باختر ناحیه شامل تنوعی از سازندهای مزوزوییک است که به وسیله نهشته های اتوسن کرج پوشیده شده اند. این حوضه با پایانه خاوری گسل طالقان منطبق است که رده بالایی از فعالیت ($Iat=1$) را در ناحیه مورد مطالعه مشخص می کند (جدول ۲).

وجود دره های باریک با شیب زیاد با میزان Vf پایین (شکل ۷ و جدول ۲) و پر تگاه های شاخص جوان که گسیختگی سطحی اخیر (پلیوسن - هولوسن) در طول آن دیده می شود (Ritz et al., 2006) نشان دهنده فعالیت زمین ساخت بالا در پهنه گسلی طالقان است (جدول های ۲ و ۳) (Khavari et al., 2010). بیشتر حوضه های با رده بالای فعالیت زمین ساخت نسبی ($Iat=1$) در راستای گسل شمال تهران دیده شده اند که نشان دهنده عملکرد رژیم جنبشی ترافشاری و گسل هایی با مؤلفه حرکتی رانندگی در این بخش از لبه جنوبی البرز مرکزی است (Ritz et al., 2006; Guest et al., 2006a). در بررسی مقاطع عرضی زمین شناسی در شمال تهران، وجود تغییرات در ستبرای نهشته های هولوسن از خاور به باختر این محدوده و مشاهده جابه جایی آبرفت های عهد حاضر از روی تصاویر هوایی و SRTM تحت تأثیر ساختارهای منطقه همانند گسل های کوتا تر (گسل نیاوران، گسل حصارک، گسل لویزان و طرشت) نشان دهنده فعالیت زمین ساختی اخیر این منطقه است که نقش مهمی را در بالآ آمدگی منطقه دارد (گسل لویزان و طرشت) (Abbassi & Farbod, 2009). همچنین نقشه مغناطیس هوایی تهران (GSI, 1977) یک خطواره پی سنگی شمال خاوری - جنوب باختری را در محدوده شمال باختر تهران نشان داده است که می تواند در جهت گیری آبراهه های منطقه، شکل حوضه های آبریز و تغییرات نشانه های زمین ریخت شناسی تأثیر گذار بوده باشد.

۴-۲. پهنه با فعالیت زمین ساختی متوسط ($Iat=2$)

در حالی که بیشتر حوضه های موجود در شمال تهران رده های بالایی از فعالیت را نشان می دهند، بررسی های مرتبط با حوضه های سازگار با سامانه گسلی مشا و بخش درونی دامنه بیشتر رده متوسطی از فعالیت را مشخص می کنند (جدول ۲ و شکل ۲). مطالعات لرزه خیزی (Ashtari et al., 2005) و ژئودیتیک (Vernant et al., 2004) و بررسی های ساختاری و زمین ریخت شناسی (Ritz et al., 2006; Solaymani et al., 2011) همگی گویای مؤلفه حرکتی امتداد لغز چپ بر با مؤلفه کوچک عادی به ویژه در بخش خاوری گسل مشا و محدوده درونی البرز مرکزی است (Ritz et al., 2006). بنابراین با توجه به نوع سازوکار حرکتی کنونی و کاهش نرخ بالآ آمدگی در این محدوده شاخص های ریخت سنجی که بیشتر وابسته به میزان بالآ آمدگی در یک ناحیه هستند رده های متوسط و کمتری از این شاخص ها را به نسبت نواحی با عملکرد گسل وارون و رانندگی نشان می دهند (Bull, 2007). بنابراین بررسی این محاسبات تأییدی از مؤلفه حرکتی اخیر در راستای این گسل بنیادی البرز مرکزی است.

۴-۳. پهنه با فعالیت زمین ساختی نسبی پایین ($Iat=3$)

با توجه به موقعیت زمین ساختی محدوده مورد مطالعه که بخش مهمی از البرز مرکزی را در بر می گیرد، بیشتر حوضه ها، فعالیت زمین ساختی نسبی بالا تا متوسطی را نشان می دهند (جدول ۲). ارزیابی حوضه های جنوب خاوری ناحیه به طور نسبی نشان دهنده نرخ پایین تری از میزان بالآ آمدگی و فعالیت زمین ساختی نسبی آن هستند. این حوضه ها که در بخش خاوری و جنوب خاوری شهر تهران جای دارند دارای توپوگرافی یکنواختی در ناحیه هستند (شکل ۲ و جدول ۲).

$$Vf = 2 Vf_w / (A_{ld} + A_{rd} - 2A_{sc}) \quad (5)$$

در این معادله Vf_w عرض کف دره و A_{sc} ، A_{ld} ، A_{rd} به ترتیب ارتفاع سمت چپ و راست دره در محل اندازه گیری (نگاه به سوی پایین دره) و ارتفاع کف دره هستند. دره های v شکل و باریک مرتبط با پیشانی های کوهستانی فعال دیده می شوند و نشان دهنده بالآ آمدگی سریع و برش بستر رود در امتداد مسیر آن هستند. با کاهش فعالیت زمین ساختی عوامل فرسایشی موجب افزایش پهنای کف دره و تشکیل دره هایی U شکل می شوند (Keller & Piter, 2002). در این مطالعه دره هایی در راستای عمود بر پیشانی های اصلی در فاصله ۰/۵ تا ۱ کیلومتر بالاتر از پیشانی گسل (Siva et al., 2003; Bull, 2007) بسته به اندازه حوضه و موقعیت آن از روی مدل ارتفاع رقومی در نظر گرفته شده اند (شکل ۸). میزان پایین شاخص Vf نشان دهنده سطح بالآ آمدگی بیشتر است (Keller & Pinter, 2002). محاسبات نشانگر نتایج پایین تر این شاخص در شمال ناحیه مورد مطالعه در حوضه های میگون و آسارا است (شکل ۸، مقطع A و G و جدول ۲).

۳-۶. شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان (Smf)

یکی از شاخص های مهم در ارزیابی و مقایسه سطح فعالیت زمین ساختی در یک ناحیه طبق رابطه زیر تعریف شده است (Bull & Macfaden, 1977; Bull, 2007):

$$Smf = L_{mf} / L_s \quad (6)$$

در آن L_{mf} طول پیشانی کوه در دامنه آن یعنی جایی که شیب میان کوه و حوضه پیشانی تغییر می کند و L_s طول مستقیم پیشانی کوه است. این رابطه تعادل میان نیروهای فرسایشی متمایل به تولید پیشانی های سینوسی و نیروهای زمین ساختی متمایل به ایجاد یک پیشانی مستقیم همراه با یک گسل فعال را نشان می دهد (Bull & Mcfaden, 1977; Keller, 1986). میزان پایین این شاخص (غالباً کمتر از ۱) بیانگر برخاستگی سریع پیشانی های کوهستانی است (Bull, 2007)، در حالی که در محدوده هایی با کاهش میزان نرخ بالآ آمدگی به تولید خلیج در راستای پیشانی کوهستانی می انجامد. در منطقه مورد مطالعه ۱۶ پیشانی گسلی از روی نقشه های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ در سامانه اطلاعاتی جغرافیایی مورد ارزیابی قرار گرفته است (شکل ۹). نتایج نشان دهنده ۳ رده پیشانی کوهستانی در محدوده است که عبارتند از رده ۱ ($Smf < 1.1$)، رده ۲ ($1.1 \leq Smf < 1.5$)، رده ۳ ($Smf \geq 1.5$) (El Hamdouni et al., 2008). پیشانی کوهستانی مستقیم (رده ۱) با حوضه های سولقان، وردیج، دربند، زردبند، درکه، فرحزاد، باغ اناری و قطعه مرکزی گسل شمال تهران منطبق است (جدول ۲ و شکل ۲).

۴-۴. بحث

۶ شاخص ریخت سنجی اصلی محاسبه شده در این مطالعه هر کدام به ۳ رده تقسیم شده اند (El Hamdouni et al., 2008) (جدول ۱). با میانگین گیری از مجموع رده های مربوط به هر شاخص (S/n) یک رده پایانی به هر زیر حوضه نسبت داده شده است (Iat) که نشان دهنده سطح فعالیت زمین ساخت نسبی است (El Hamdouni et al., 2008) (جدول ۱).

با توجه به محاسبات انجام شده در این بررسی و تقسیم بندی سطح فعالیت زمین ساخت نسبی (El Hamdouni et al., 2008) (جدول ۱) ۳ رده از این فعالیت در ناحیه مورد مطالعه مشخص شده است (جدول ۲). رده ۱ نشان دهنده پهنه هایی با میزان فعالیت زمین ساخت نسبی بالا در ناحیه و رده ۳ نمایانگر پایین ترین سطح از این فعالیت است. این رده ها در واقع الگوی از نرخ های مختلف بالآ آمدگی کوتا تر را در یک ناحیه نشان می دهند (Bull, 2007).

۴-۱. پهنه با فعالیت زمین ساختی بالا ($Iat=1$)

بر پایه جدول ۲ بیشتر حوضه های واقع در لبه جنوبی البرز مرکزی که منطبق با گسل های اصلی چون گسل مرز میان کوه و دشت شمال تهران هستند، رده های بالایی

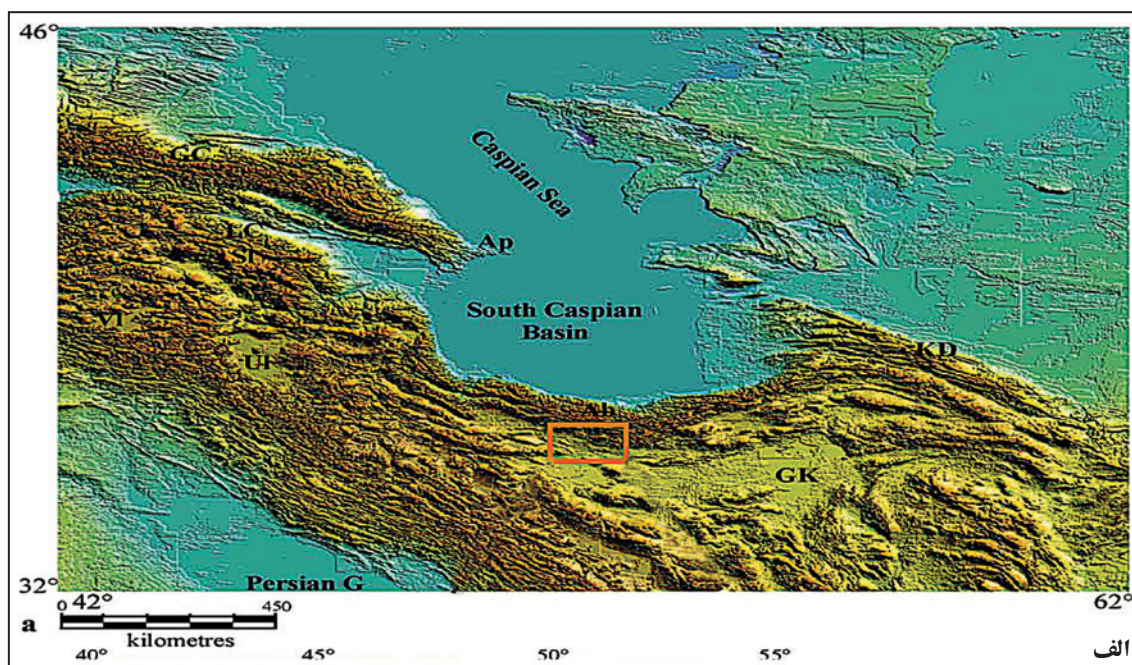
قطعاتی از پهنه‌های گسلی با پتانسیل خطر نقش مهمی داشته باشند (Bull, 2007)، بنابراین همان گونه که در برخی مطالعات هم اشاره شده است (Nazari et al., 2011) ضمن فعالیت بالای سیستم گسلی لرزه‌زای مشا خاوری و مرکزی، سامانه گسلی شمال تهران در جنوبی‌ترین لبه البرز مرکزی با توجه به شواهد ریخت‌زمین‌ساختی، دیرینه لرزه‌شناسی و سن‌سنجی (Ritz et al., 2003 & 2006; Nazari & Ritz, 2008; Nazari et al., 2008; Guest et al., 2006a,b & 2007; Solaymani et al., 2011) و سطح فعالیت زمین‌ساختی نسبی اخیر بر پایه تحلیل‌های ریخت‌سنجی با توجه به کمبود لرزه‌ای در راستای آن، می‌تواند گسلی (به‌ویژه قطعه مرکزی آن) با پتانسیل خطر در آینده باشد.

۵- نتیجه‌گیری

مطالعات ریخت‌سنجی امکان مقایسه نسبی از فعالیت زمین‌ساخت اخیر را بر پایه نرخ‌های بالاآمدگی متفاوت تحت تأثیر توزیع دگرریختی و عملکرد مؤلفه‌های حرکتی در امتداد ساختارها فراهم می‌کند. در این بررسی ۶ شاخص مهم ریخت‌سنجی: شاخص طول - شیب آبراهه (SL)، انتگرال فرازسنجی (Hi)، شکل حوضه زهکشی (Bs)، عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)، نسبت عرض کف دره به ارتفاع آن (V_f) و پیچ و خم پیشانی کوه (Smf)، مورد محاسبه و ارزیابی قرار گرفته‌اند. مطالعه روی عوارض ریخت‌زمین‌ساختی، محاسبات شاخص‌های ریخت‌سنجی و رده‌های فعالیت زمین‌ساخت نسبی همخوانی خوبی با ساختارهای شاخص ناحیه دارند. بررسی‌ها ۳ رده از فعالیت زمین‌ساخت نسبی را در ناحیه مورد مطالعه نشان می‌دهند. این رده‌های زمین‌ساختی با نوع سازو کار جنبشی ساختارها و دگرشکلی اخیر در ناحیه منطبق هستند. چنان که بیشتر حوضه‌های واقع در بخش شمال تهران از لبه جنوبی البرز مرکزی میزان بالایی از فعالیت زمین‌ساخت نسبی را نشان می‌دهند.

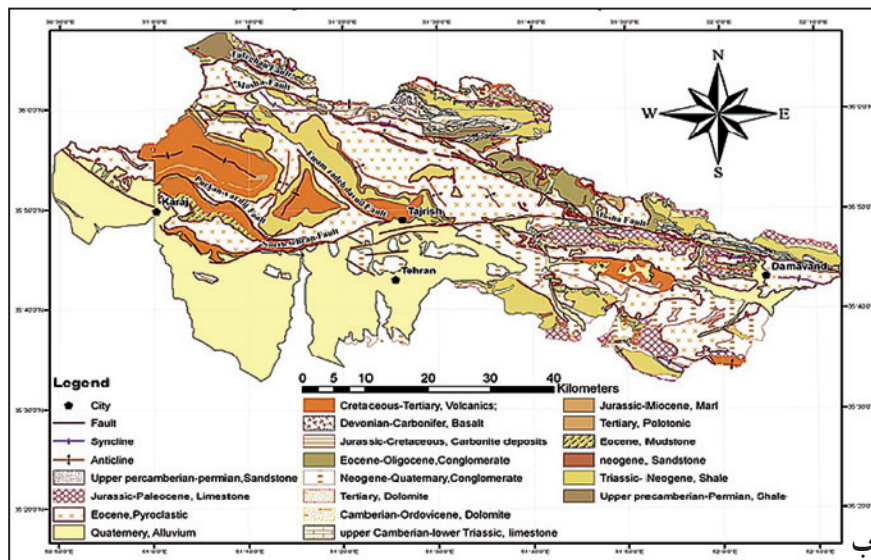
مطالعه روی شواهد حرکتی و بررسی جنبش‌های اخیر در امتداد گسل‌های شاخص محدوده (جدول ۳) نشان می‌دهد که این گسل‌ها در طی هولوسن فعال بوده‌اند. همچنین تفاوت در سازوکار حرکتی و میزان نرخ‌های لغزش (Ritz et al., 2003 & 2006; Nazari & Ritz, 2008; Nazari et al., 2008) مرتبط با این گسل‌ها تنوعی از دگرریختی را در ناحیه به وجود آورده است. به گونه‌ای که در جدول ۳ دیده می‌شود مؤلفه غالب حرکتی گسل مشا خاوری و مرکزی به صورت امتدادلغز چپ گرد است که بیشترین جابه‌جایی و نرخ‌های لغزش افقی را هم نشان می‌دهد (Ritz et al., 2006). مطالعات متعدد در راستای گسل شمال تهران اشاره به مؤلفه حرکتی غالب وارون دارد (Nazari et al., 2008; Guest et al., 2006a; Nazari & Ritz, 2008; Ritz et al., 2012). هر چند که اطلاعات کمی زیادی در مورد نرخ‌های لغزش و جابه‌جایی در کل امتداد گسل شمال تهران موجود نیست و پژوهش‌های پیشین هم اشاره به نرخ کلی به‌طور نسبی پایین برای آن دارد (جدول ۳)، ولی بررسی‌های ساختاری و سن‌سنجی (Guest et al., 2006a,b & 2007) نشان می‌دهد لبه جنوبی البرز مرکزی، منطقه‌ای با بیشترین میزان رخداد دگرشکلی ترافشارش بوده است (Guest et al., 2006a, 2007; Ritz et al., 2006). ضمن این که به علت حرکت حوضه خزر جنوبی به‌سوی باختر (Ritz et al., 2006) (پلیستوسن) جنبش‌های اخیر در منطقه به صورت حرکات امتدادلغز در راستای گسل‌های شاخص همچون گسل مشا خاوری و مرکزی و دگرشکلی ترا فشاری در لبه جنوبی البرز مرکزی (منطبق با سیستم گسلی همچون گسل شمال تهران) متمرکز شده است. چنان که در برخی از مطالعات لبه جنوبی البرز مرکزی را مترادف با یک دابلکس ترافشاری در نظر گرفته‌اند که همراه با تراست‌شدگی، مرتفع‌شدگی و بالاآمدگی است (Guest et al., 2006a).

از آن جایی که این رده‌های فعالیت زمین‌ساخت نسبی می‌توانند در ارزیابی

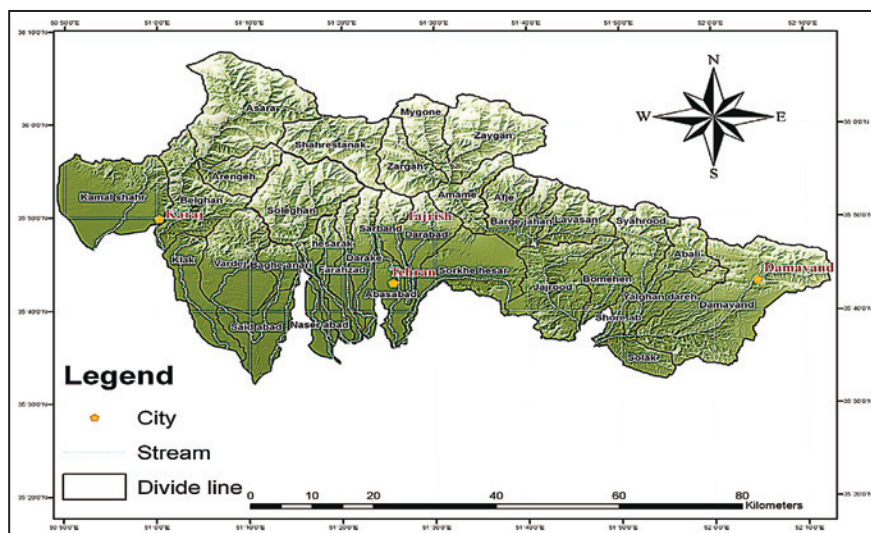


شکل ۱- موقعیت ناحیه مورد مطالعه در الف) شمال خاورمیانه (برگرفته از Brunet et al., 2003)؛

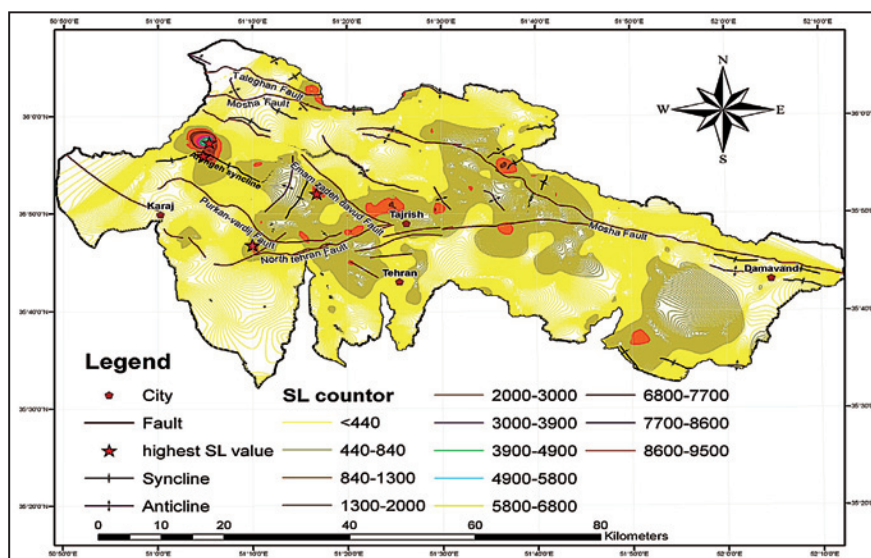
مربع قرمز: ناحیه مورد بررسی در شکل ب می‌باشد.



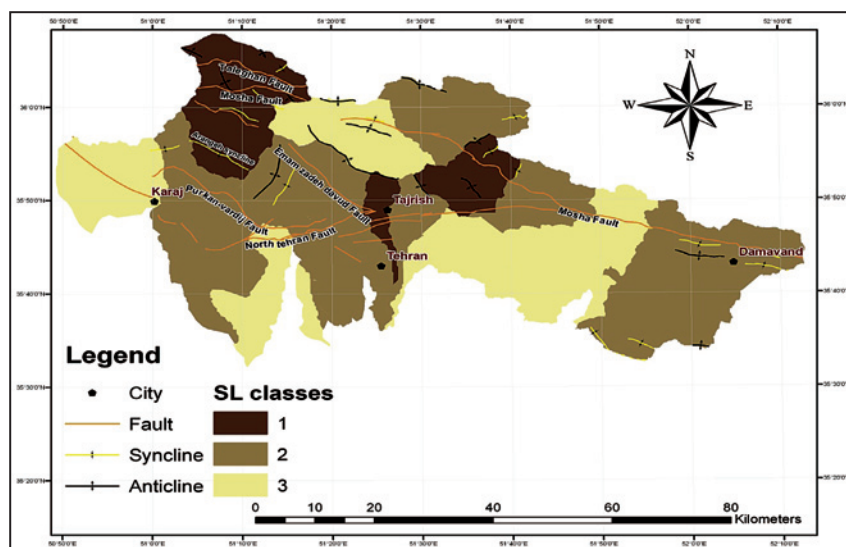
شکل ۱- موقعیت ناحیه مورد مطالعه در (ب) نقشه زمین‌شناسی ناحیه مورد بررسی (حق‌پور و وحدتی دانشمند، ۱۳۶۵).



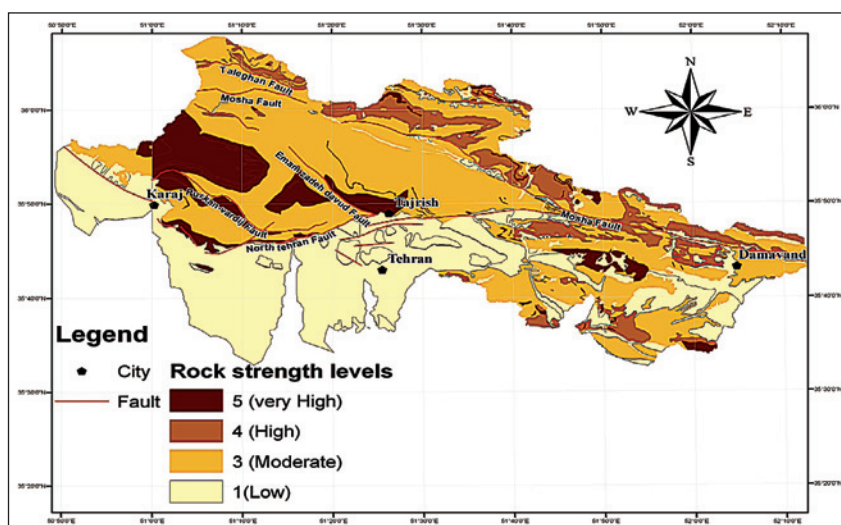
شکل ۲- ۳۳ زیرحوضه زهکشی استخراج شده در ناحیه مورد بررسی.



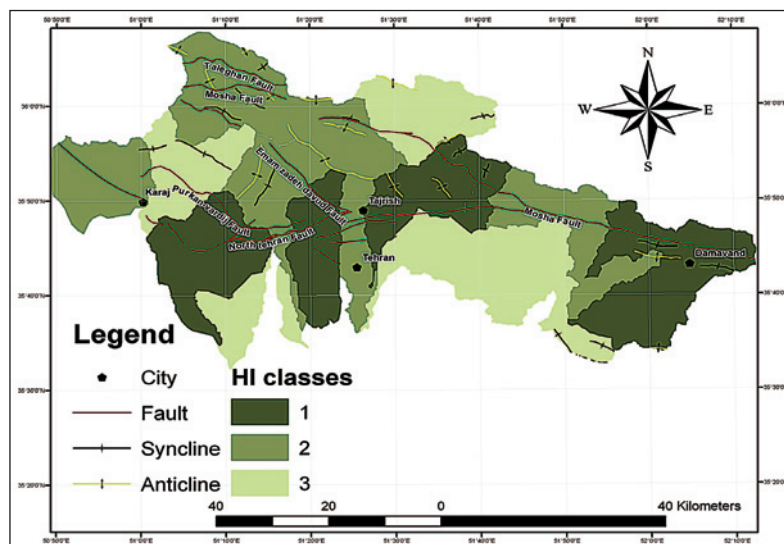
شکل ۳- منحنی میزان‌های شاخص طول-شیب آبراهه (SL).



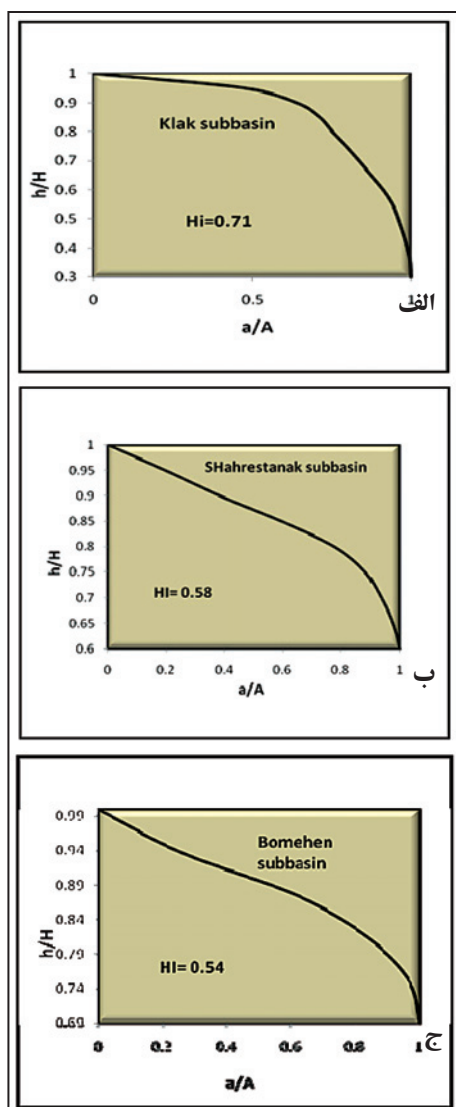
شکل ۴- پراکندگی رده‌های شاخص طول- شیب آبراهه (SL) در ناحیه.



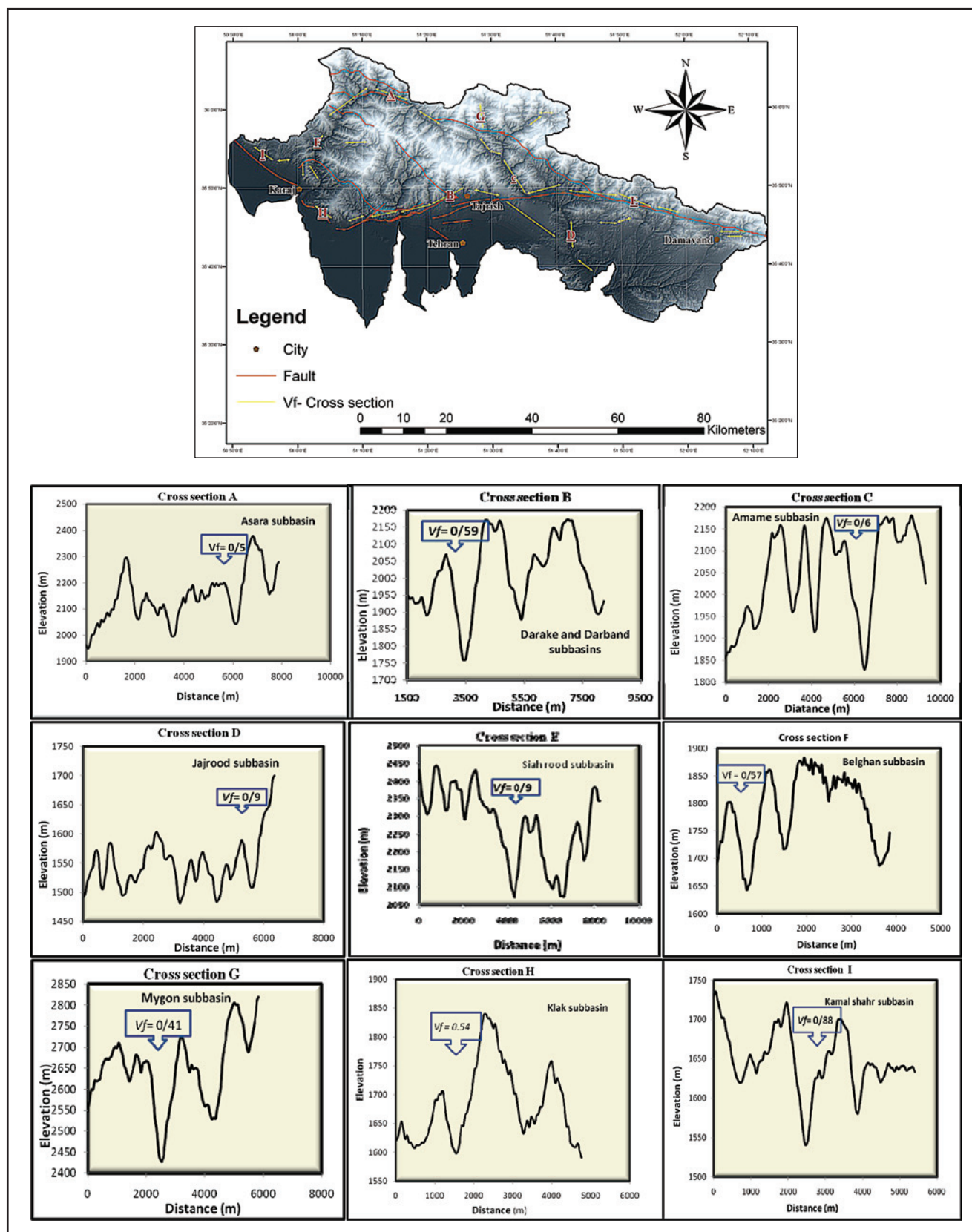
شکل ۵- نقشه مقاومت سنگ ناحیه در مورد مطالعه.



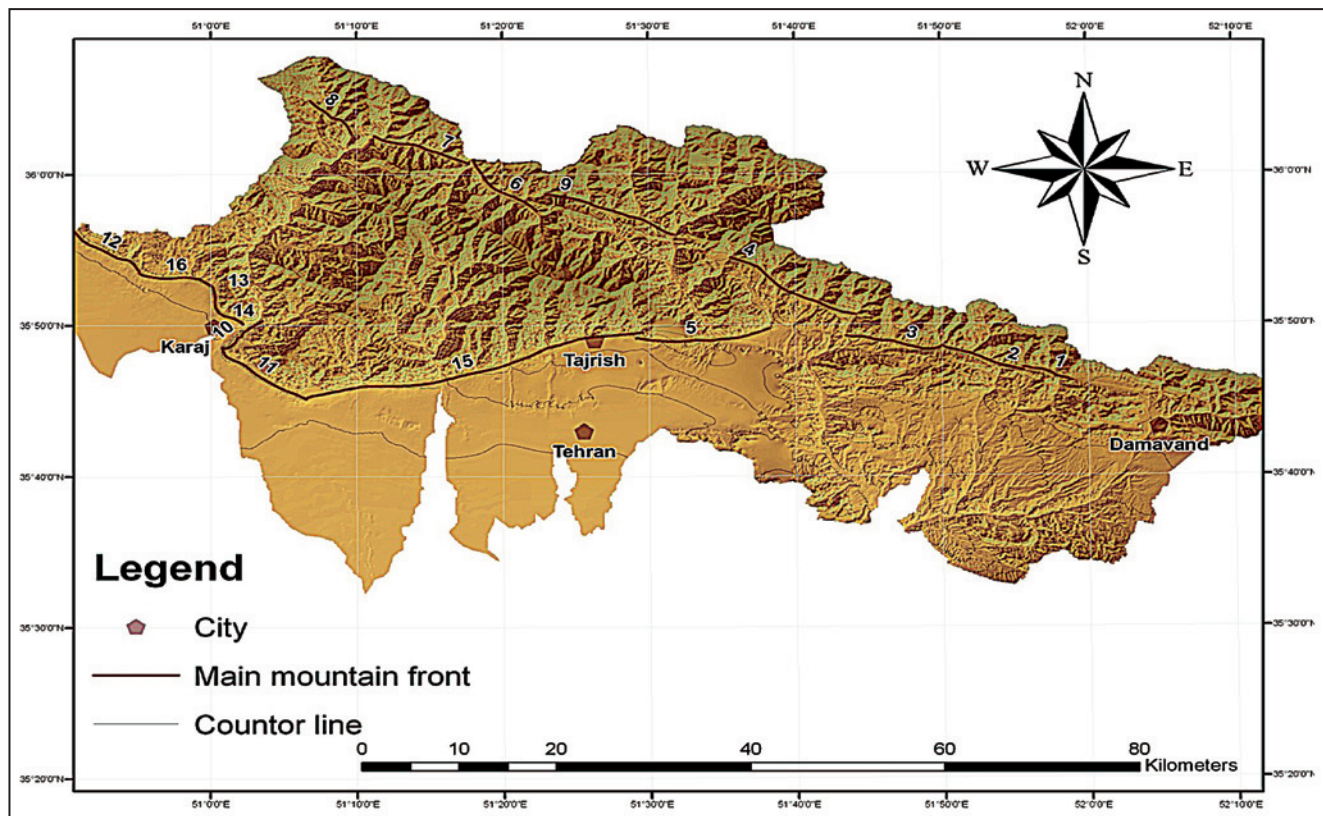
شکل ۶- پراکندگی رده‌های شاخص انتگرال فراسنجی (HI) در ناحیه.



شکل ۷- نمودارهای انتگرال هیپسومتري (HI) حوضه زهکشی با میزان (الف) بالا، (ب) متوسط و (ج) پایین از این شاخص در ناحیه مورد مطالعه.



شکل ۸- نقشه مقاطع شاخص نسبت عرض کف دره به ارتفاع آن (V_f) و ۹ نمودار از آن در ناحیه.



شکل ۹-۱۶ پیشانی کوهستانی اصلی برای محاسبه شاخص پیچ‌وخم پیشانی کوهستان (Smf)

جدول ۱- رده‌بندی رده‌های شاخص‌های زمین‌ریختی توسط (EL Hamdouni et al. (2008).

ردده	طول شیب-آبراهه (SL)	عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)	شکل حوضه زهکشی (Bs)	نسبت عرض کف دره به ارتفاع آن (Vf)	پیچ و خم پیشانی کوهستانی (Smf)
۱	میزان ناهنجاری بالا	$ Af-50 > 15$	$4 <$	$0.5 >$	$1/1 >$
۲	میزان ناهنجاری پایین	$ Af-50 = 7-15$	$3-4$	$0.5-1$	$1/1-1/5$
۳	بدون ناهنجاری	$ Af-50 < 7$	$3 >$	$1 <$	$1/5 <$

جدول ۲- رده‌های شاخص‌های ریخت‌سنجی و رده‌های فعالیت زمین‌ساخت‌نمایی (Lat) محاسبه‌شده در ناحیه مورد مطالعه.
(a: مساحت هر زیرحوضه، A: مساحت کل حوضه)

شماره زیرحوضه	زیرحوضه	رده (SL)	رده (Hi)	رده (Af)	رده (Bs)	رده (Vf)	رده (Smf)	(S/n)	رده (Lat)	مساحت (Area) Km	نسبت (به درصد) (a/A)
۱	آسارا	۱	۲	۲	۳	۱	۲	۱/۸	۱ (High)	۲۹۶/۸۲	۰/۸۱
۲	شهرستانک	۳	۲	۳	۳	۱	۲	۲/۳	۲ (Moderate)	۵۱/۱۵۴	۰/۴۲
۳	زایگان	۲	۳	۲	۳	۱	-	۲/۲	۲ (Moderate)	۱۸۵/۶۷	۰/۵
۴	میگون	۲	۳	۳	۳	۱	۲	۲/۳	۲ (Moderate)	۸۲/۲۷	۰/۲۲
۵	بیلقان	۲	۳	۲	۲	۲	۲	۲/۱	۲ (Moderate)	۱۵۹/۹۴	۰/۴۳
۶	آرانگه	۱	۳	۲	۳	۲	-	۲/۲	۲ (Moderate)	۸۳/۵۴	۰/۲۲
۷	زارگاه	۳	۲	۱	۳	۱	۲	۲	۲ (Moderate)	۹۸/۸	۰/۲۷
۸	امامه	۱	۱	۱	۲	۲	۲	۱/۵	۱ (High)	۹۰/۴۱	۰/۲۴
۹	سولقان	۲	۲	۳	۲	۲	۱	۲	۲ (Moderate)	۲۴۳/۳۳	۰/۶۶
۱۰	کمال‌شهر	۳	۲	۱	۳	۲	۲	۲/۱	۲ (Moderate)	۲۵۱/۸	۰/۶۸
۱۱	افجه	۲	۱	۱	۳	۲	۲	۱/۸	۱ (High)	۷۲/۸۳	۰/۱۹
۱۲	لواسان	۳	۲	۱	۳	۲	۲	۲/۱	۲ (Moderate)	۱۰۴/۸۶	۰/۲۸
۱۳	برگ جهان	۲	۱	۲	۳	۲	۲	۲	۲ (Moderate)	۶۵/۰۵	۰/۱۷
۱۴	سیاه‌رود	۳	۲	۳	۳	۲	۱	۲/۳	۲ (Moderate)	۱۱۳/۰۱	۳/۰
۱۵	جاجرود	۳	۳	۲	۳	۲	-	۲/۶	۳ (Low)	۱۹۷/۳۳	۰/۵۴
۱۶	وردیج	۲	۱	۲	۳	۲	۱	۱/۸	۱ (High)	۱۸۷/۳۸	۵۱/۰
۱۷	پلکان‌دره	۲	۲	۳	۲	-	-	۲/۲	۲ (Moderate)	۸۵/۵	۰/۲۳
۱۸	دماوند	۲	۱	۳	۲	۲	-	۲	۲ (Moderate)	۳۹۰/۹۹	۱/۰۷
۱۹	دریند	۲	۱	۳	۳	۲	۱	۲	۲ (Moderate)	۹۵/۲۷	۰/۲۶
۲۰	سرخه حصار	۳	۳	۱	۳	۳	۲	۲/۵	۳ (Moderate)	۱۸۴/۵۶	۰/۵
۲۱	سربند	۱	۲	۲	۱	۲	۱	۱/۵	۱ (High)	۶۲/۹۵	۰/۱۷
۲۲	عباس‌آباد	۳	۲	۲	۱	۲	-	۲	۲ (Moderate)	۷۳/۷۵	۰/۲
۲۳	بومهن	۳	۳	۲	۳	۲	-	۲/۶	۳ (Moderate)	۷۸/۹۷	۰/۲۱
۲۴	درکه	۲	۱	۲	۱	۲	۱	۱/۵	۱ (High)	۹۸/۶۶	۰/۲۷
۲۵	فرحزاد	۲	۱	۲	۱	۲	۱	۱/۵	۱ (High)	۶۸/۴۱	۰/۱۸
۲۶	باغ‌اناری	۳	۱	۱	۲	۲	۱	۱/۶	۱ (High)	۴۷/۲۸	۰/۱۲
۲۷	حصارک	۲	۱	۳	۱	۲	۱	۱/۶	۱ (High)	۶۵/۹۳	۰/۱۸
۲۸	سعیدآباد	۳	۳	۱	۱	-	-	۲	۲ (Moderate)	۱۱۸/۸۵	۰/۳۲
۲۹	کلاک	۲	۱	۲	۱	۲	۲	۱/۶	۱ (High)	۱۱۰/۶	۰/۳
۳۰	ناصرآباد	۳	۳	۱	۱	-	-	۲	۲ (Moderate)	۳۵/۹	۰/۰۹
۳۱	آبعلی	۲	۱	۳	۲	۲	۱	۱/۸	۱ (High)	۸۰/۸۷	۲۲/۰
۳۲	شورآب	۳	۲	۳	۲	-	-	۲/۵	۳ (Low)	۲۳/۹	۰/۰۶
۳۳	سولک	۳	۳	۳	۳	-	-	۳	۳ (Low)	۵۴/۳۷	۰/۱۴

جدول ۳- وضعیت سازوکار، میزان و نرخ‌های جابه‌جایی، وجود نشانه‌های ریخت‌زمین‌ساختی و میزان فعالیت زمین‌ساختی نسبی برخی از گسل‌های اصلی ناحیه مورد مطالعه.

شماره گسل	اسم گسل	جهت گسل	سازو کار جنبشی گسل	جابه‌جایی افقی	جابه‌جایی عمودی	نسبت H/V	نرخ لغزش افقی	نرخ لغزش عمودی	وجود نشانه‌های ریخت‌زمین‌ساختی اخیر	فعالیت زمین‌ساختی کو‌اترنر	رده فعالیت زمین‌ساختی نسبی (در این مطالعه)
۱	گسل مشاء خاوری	N100E	امتداد لغز چپ گرد با مؤلفه عادی Ritz et al. (2003 & 2006), Tatar et al. (2012)	H: ۱۰۰۰ m Ritz et al. (2006) ۲۰۰۰ m Ritz et al. (2006)	V: ۲۰۰ m Ritz et al. (2006) ۳۵۰ m Ritz et al. (2006)	Δ m Ritz et al. (2006)	۲/۲ mm/Yr Ritz et al. (2003)		جابه‌جایی Talwege Shutter ridge Ritz et al. (2006)	وجود گسیختگی‌های سطحی با ساختارهای Graben - Horst که نهشته‌های هولوسن را متأثر کرده است Ritz et al. (2006)	به طور چپره ۲
۲	گسل مشاء مرکزی	NW-SE	امتداد لغز چپ گرد Ritz et al. (2006), Guest et al. (2006), Nazari & Ritz (2008)	جابه‌جایی چپ گرد ۳۰-۳۵ km Allen et al. (2003)			۲/۷ mm/Yr Ritz et al. (2003)		جابه‌جایی آبراهه‌ها	آثاری از دگرشکلی فعال Nazari & Ritz (2008)	به طور چپره ۲
۳	گسل مشاء باختری	E-W	وارون با مؤلفه امتداد لغز چپ گرد Nazari & Ritz (2008), Guest et al. (2006)							رده بالا از فعالیت زمین‌ساختی نسبی Khavari et al. (2010)	۱
۴	پهنه گسلی طالقان	N105E (در بخش خاوری) Ritz et al. (2006)	امتداد لغز چپ گرد با مؤلفه عادی Ritz et al. (2006), Nazari et al. (2006, 2009), Nazari & Ritz (2006) نرمال راست گرد بوده است که متعاقباً به عنوان یک سیستم معکوس چپ گرد فعال شده است ولی در محدوده جنوبی گسل طالقان شرقی: گسل تراستی با مؤلفه امتداد لغز چپ گرد است Guest et al. (2006)	H: ۱۳ m ۱۱۵ m Ritz et al. (2006), Nazari & Ritz (2008)			۰/۶-۱/۶ mm/Yr Nazari et al. (2009)	۰/۵ mm/Yr Nazari et al. (2009)	جابه‌جایی Talwege Shutter ridge Ritz et al. (2006) جابه‌جایی شبکه‌های زمینکی Nazari & Ritz (2008)	پرتگاه‌های شاخص جوان با گسیختگی سطحی (پلوسن-هولوسن) Ritz et al. (2006) رده بالا از فعالیت زمین‌ساختی نسبی Khavari et al. (2012)	(بخش خاوری گسل طالقان) ۱
۵	گسل شمال تهران	N115E	وارون با مؤلفه امتداد لغز چپ گرد Nazari et al. (2008, 2009)		۳/۶ m Nazari & Ritz (2008)			نرخ لغزش کلی: ۰/۳ mm/Yr Nazari et al. (2008)	۱- جابه‌جایی سامانه زمینکی Nazari (2006), Nazari & Ritz (2008) ۲- زمین‌لغزش Nazari et al. (2008)	۱- ۷ تا ۶ گسیختگی سطحی اخیر Nazari et al. (2011) ۲- وجود پرتگاه گسلی ۳- متری در بخش مرکزی که نهشته‌های پلیوستوسن-هولوسن را متأثر کرده است Nazari et al. (2007)	به طور چپره ۱ (به‌ویژه بخش مرکزی گسل شمال تهران)

کتابنگاری

حق‌پور، ع. و وحدتی دانشمند، ف.، ۱۳۶۵- نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ زمین‌شناسی تهران، سازمان زمین‌شناسی کشور.
 سلیمانی، ف.، ققھی، خ.، شبانیان، ا.، عباسی، م. و ریتس، ژ.، ۱۳۸۱- بررسی‌های دیرینه‌لرزه‌شناسی مقدماتی روی گشل مشا در دره مشا، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۹۶ص.
 معماریان، ح.، ۱۳۸۰- زمین‌شناسی برای مهندسين، انتشارات دانشگاه تهران، صفحه ۴۹ تا ۱۲۶.

References

- Abbassi, M. & Farbod, Y., 2009- faulting and folding in quaternary deposits of Tehran- piedmont (Iran). *Journal of Asian earth sciences* 34, 522-531.
- Alavi, M., 1991- sedimentary and structural characteristics of the paleo-Tethys remnants in northeastern Iran. *geological society of America Bulletin* 103,983-992.
- Allen, M. B., Ghassemi, M. R., Shahrabi, M. & Ghorashi, M., 2003- Accommodation of late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range, Northern Iran. *journal of structural geology* 25(5), 659-672.
- Ashtari, M., Hatzfeld, D. & Kamalian, M., 2005- microseismicity in the region of Tehran. *Tectonophysics* 395, 193-208.
- Azor, A., Keller, E. A. & Yeats, R. S., 2002- Geomorphic indicators of active fold growth: South Mountain-Oak Ridge Ventura basin, Southern California. *Geological Society of America Bulletin* 114, 745-753.
- Berberian, M. & Yeats, R. S., 2001- Contribution of archeological data to studies of earthquake history in the Iranian plateau. *journal of structural geology* 23, 563-584.
- Berberian, M., 1983- The southern Caspian: a compressional depression floored by a trapped, modified oceanic crust. *Canadian journal of Earth Science* 20, 163-183.
- Bruent, M., Korotaev, M., Ershov, A. & Nikishin, A., 2003- the south Caspian basin: a review of its evolution from subsidence modelling. *sedimentary geology* 156, 119-148.
- Bull, W. B. & McFadden, L. D., 1977- Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In: Doebling, D.O. (Ed.), *Geomorphology in Arid Regions. Proceedings of the Eighth Annual Geomorphology Symposium*. State University of New York, Binghamton, pp. 115-138.
- Bull, W. B., 2007- *Tectonic Geomorphology of Mountains: A New Approach to Paleoseismology*, California. Blackwell, Malden, pp. 316.
- Burbank, D. & Anderson, R., 2001- *Tectonic Geomorphology*. Blackwell Science, Oxford, pp. 274.
- Cannon, P. J., 1976- Generation of explicit parameters for a quantitative geomorphic study of Mill Creek drainage basin. *Oklahoma Geology Notes*, 36(1), 3-16.
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacón, J. & Keller, E. A., 2008- Assessment of relative active tectonics, southwest border of Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*, 96, 150-173.
- Geological Survey of Iran, 1977- Aeromagnetic map of Tehran, Geological Survey of Iran, Tehran, scale 1:250000.
- Guest, B., Axen, G. J., Lam, P. S. & Hassanzadeh, J., 2006a- Late Cenozoic shorting in the west-central Alborz mountains, northern Iran, by combined conjugate strike-slip and thin-skinned deformation. *Geosphere* 2(1), 35-52.
- Guest, B., Horton, B., Axen, G., Hassanzadeh, J. & McIntosh, W., 2007- Middle to late Cenozoic basin evolution in the western Alborz Mountains: Implications for the onset of collisional deformation in northern Iran. *Tectonics* 26, 1-26.
- Guest, B., Stockli, D., Grove, M., Axen, G., Lam, P. & Hassanzadeh, J., 2006b- Thermal histories from the central Alborz Mountains, northern Iran: implications for the spatial and temporal distribution of deformation in northern Iran. *Geological Society of America Bulletin* 118 (11-12), 1507-1521.
- Hack, J. T., 1957- Studies of longitudinal stream-profiles in Virginia and Maryland: U.S. Geological Survey Professional Paper 294B, 45-97.
- Hack, J. T., 1973- Stream-profiles analysis and stream-gradient index. *Journal of Research of the U.S. Geological Survey* 1 (4), pp. 421-429.
- Hack, J. T., 1982- Physiographic division and differential uplift in the piedmont and Blue Ridge. U.S. Geological Survey Professional Paper 1265, 1-49.
- Hare, P. W. & Gardner, T. W., 1985- Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins, Nicoya Peninsula, Costa Rica. In: Morisawa, M., Hack, J.T. (Eds.), *Tectonic Geomorphology. Proceedings of the 15th Annual Binghamton Geomorphology Symposium*. Allen and Unwin, Boston, 123-134.
- Jackson, J. A., Priestley, K., Allen, M. & Berberian, M., 2002- Active tectonics of the south Caspian basin, *Geophysical journal International* 148, 214-242.
- Keller, E. A. & Pinter, N., 1996- *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape*. Prentice Hall, New Jersey, pp. 338.
- Keller, E. A. & Pinter, N., 2002- *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape*. Second Edition. Prentice Hall, New Jersey, pp. 362.
- Keller, E. A., 1986- Investigation of active tectonics: use of surficial Earth processes. In: Wallace, R.E. (Ed.), *Active Tectonics, Studies in Geophysics*. National Academy Press, Washington DC, 136-147.

- Khavari, R., Ghorashi, M., Arian, M. & Khosrotehrani, K. H., 2010- Geomorphic signatures of active tectonics in the Karaj Drainage basin in South Central Alborz, N Iran, *Geosciences* 19, 67-74.
- Mayer, L., 1990- Introduction to Quantitative Geomorphology. Prentice Hall, Englewood, Cliffs, NJ, pp. 380.
- Molin, P., Pazzaglia, F. J. & Dramis, F., 2004- Geomorphic expression of active tectonics in a rapidly-deforming forearc, Sila massif, Calabria, southern Italy. *American Journal of Science* 304, 559-589.
- Nazari, H. & Ritz, J. F., 2008- Neotectonic in central Alborz. *Geosciences* 17, 75-92.
- Nazari, H., Ritz, J. F., Balescu, S., Lamothe, M., Salamati, R., Talebian, M., Ghorashi, M. & Saidi, A., 2008- Paleoseismological Analysis of the North Tehran Fault, Iran, Analysing Prehistoric Ruptures for the Past 30.000 ka, 33IGC, Oslo.
- Nazari, H., Ritz, J., Ghassemi, A., Bahar-Firouzi, K., Salamati, R., Shafei, A. & Fonoudi, M., 2011- Paleoeearthquakes Determination of Magnitude ~6.5 on the North Tehran Fault, Iran. *JSEE* 13, 17-24.
- Nazari, H., Ritz, J., Salamati, R., Shafei, A., Ghassemi, A., Michelot, J., Massault, M. & Ghorashi, M., 2009- Morphological and palaeoseismological analysis along the Taleghan fault (Central Alborz, Iran). *Geophysical Journal International* 178, 1028-1041.
- Nazari, H., Ritz, J., Salamati, R., Solaymani, S., Balescu, S., Michelot, J., Ghassemi, A., Talebian, M., Lamothe, M. & Massault, M., 2007- Paleoseismological analysis in Central Alborz. 50th anniversary earthquake conference commemorating the 1957 Gobi-Altay earthquake, Mongolia.
- Pike, R. J. & Wilson, S. E., 1971- Elevation-relief ratio, hypsometric integral and geomorphic area-altitude analysis. *Geological Society of America Bulletin* 82, 1079-1084.
- Ramírez-Herrera, M. T., 1998- Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay Graben, Mexican volcanic belt. *Earth Surface Processes and Landforms* 23, 317-332.
- Ritz, J. F., Balescu, S., Sleymani, S., Abbassi, M., Nazari, H., Feghhi, K., Shabanian, E., Tabassi, H., Farbod, Y., Lamothe, M., Michelot, J. L., Massault, M., Ché'ry, J. & Vernant, P., 2003- Geometry, kinematics and slip rate along the Mosha active fault, central Alborz: Nice, France, EGU-AGU-EUG Joint Assembly, Abstract EAE03-A-06057.
- Ritz, J. F., Nazari, H., Ghassemi, A., Salamati, R., Shafei, A., Solaymani, S. & Vernant, P., 2006- Active transtention inside central Alborz: a new insight in to northern Iran-southern Caspian geodynamics. *Geology* 34, 477-480.
- Ritz, J., Nazari, H., Balescu, S., Lamothe, M., Salamati, R., Ghassemi, A., Shafei, A., Ghorashi, M. & Saidi, A., 2012- Paleoeearthquakes of the past 30,000 years along the North Tehran Fault (Iran). *Journal of Geophysical Reserch* 117, 15 pp.
- Rockwell, T. K., Keller, E. A. & Johnson, D. L., 1985- Tectonic geomorphology of alluvial fans and mountain fronts near Ventura, California. In: Morisawa, M. (Ed.), *Tectonic Geomorphology. Proceedings of the 15th Annual Geomorphology Symposium*. Allen and Unwin Publishers, Boston, pp. 183-207.
- Silva, P. G., 1994- Evolución geodinámica de la depresión del Guadalentín desde el Mioceno superior hasta la Actualidad: Neotectónica y geomorfología. Ph.D. Dissertation, Complutense University, Madrid, pp. 642.
- Silva, P. G., Goy, J. L., Zazo, C. & Bardajm, T., 2003- Fault generated mountain fronts in Southeast Spain: geomorphologic assessment of tectonic and earthquake activity. *Gemorphology* 250. 203-226.
- Solaymani, S. H., Ritz, J. F. & Abbassi, M. R., 2011- Left lateral active deformation along Mosha- North Tehran fault system (Iran); Morphotectonics and paleosiesmological investigations. *Tectonophysics* 497, 1-14.
- Strahler, A. N., 1952- Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin* 63, 1117-1142.
- Tatar, M., Hatzfeld, D., Abbassi, A. & Fard Yamini, F., 2012- Microseismicity and seismotectonics around the Mosha fault (Central Alborz, Iran). *Tectonophysics* 544, p. 50-59.
- Vernant, P., Nilforoushan, F., Chery, J., Bayer, R., Djamour, Y., Masson, F., Nankali, H., Ritz, J., Sedighi, M. & Tavakoli, F., 2004- Deciphering oblique shorting of Cenral Alborz in Iran using geodetic data. *Earth and planetary science letters* 223, 177-185.
- Wells, S. G., Bullard, T. F., Menges, T. M., Drake, P. G., Karas, P. A., Kelson, K. I., Ritter, J. B. & Wesling, J. R., 1988- Regional variations in tectonic geomorphology along segmented convergent plate boundary, Pacific coast of Costa Rica. *Geomorphology* 1, 239-265.

Neotectonic Analysis of Mosha-North Tehran Fault Zone, Based on Morphotectonic Features, Central Alborz, Northern Iran

N. Bagha^{1*}, M. Ghorashi², M. Arian³, M. Pourkermani⁴ & A. Solgi⁵

¹ Ph.D., Department of Geology, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

²Associate Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, Tehran North Branch, Tehran, Iran

³Associate Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

⁴Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, Tehran North Branch, Tehran, Iran

⁵Assistant Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

Received: 2012 June 10

Accepted: 2012 October 21

Abstract

Structural development, caused by active tectonics leads to deformation of morphology features. The Mosha-North Tehran fault zone, located in south edge of the Central Alborz consists of significant tectonic structures. Hence, study on morphotectonic signs is a proper method for evaluation of relative tectonic activities in the area. In this research, six main morphometric indices such as stream length-gradient (SL), drainage basin asymmetry (Af), hypsometric integral (Hi), ratio of valley-floor width to valley height (Vf), drainage basin shape (Bs), and mountain front sinuosity (Smf) were considered. The computations and probes of these indices indicate three classes of relative tectonic activity in the study area from low to high level. Consequently, the drainage basins with high class of tectonic activity mostly coincide with the main faults in south edge of the Central Alborz.

Keywords: Relative Activity, Morphometric Indices, Morphotectonic, Drainage Basin, Uplift, Mosha Fault

For Persian Version see pages 41 to 52

*Corresponding author: N. Bagha; E-mail: n_bagha@yahoo.com